

нефтепродуктов, который непосредственно влияет на прогресс в данной сфере нефтяной промышленности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Крец В. Г. Машины и оборудование газонефтепроводов: учебное пособие / В.Г. Крец, А. В. Рудаченко, В.А. Шмурыгин; Томский политехнический университет. - Томск: Изд. ТПУ, 2013.- 376 с.
2. Нечаев Д. А. Оценка технических средств нейтрализации аварийных разливов нефтепродуктов // Творчество юных – шаг в успешное будущее: материалы VIII Всероссийской научной студенческой конференции с элементами научной школы имени профессора М.К. Коровина, Томск, 23-27 Ноября 2015. - Томск: ТПУ, 2015 - С. 458-46.
3. Нечаев Д.А., Чухарева Н.В. Применение функциональной модели при конструировании универсальной установки, предназначенной для ликвидации разливов нефтепродуктов; "Безопасность-2017": XXII Всероссийская студенческая научно-практическая конференция с международным участием "«Проблемы экологической и промышленной безопасности современного мира»" ; 2017 г.; С. 196-198.
4. Пашаян, А.А. Проблемы очистки загрязненных нефтью вод и пути их решения / А.А. Пашаян, А.В. Нестеров // Экология и промышленность России - май 2008. - С.32 - 35.

ИССЛЕДОВАНИЕ КОРРЕЛЯЦИИ МЕР ЦЕНТРАЛЬНОСТИ СЕТЕЙ ЭНЕРГЕТИКИ

Е. В. Носырева

(г. Иркутск, Иркутский национальный исследовательский технический университет)

e-mail: nev-7@list.ru

RESEARCH OF CORRELATION OF CENTRALITY MEASURES OF ENERGY NETWORKS

E. V. Nosyрева

(Irkutsk, Irkutsk National Research Technical University)

Abstract. Networks centrality measures can be used as indicators of the importance of the critical energy facilities. However, the number of centrality measures is large, so the problem arises of choosing from them several that most fully reflect all aspects of the importance of the object. If there is a high correlation between measures, one can assume that there is a relationship between them. Thus, the number of centrality measures considered can be reduced by eliminating some related measures. The paper investigates the correlation of centrality measures of two energy networks - the power supply network and the gas pipeline network.

Keywords: critical objects, energy sector, complex networks, centrality measures, correlation.

Введение. Важнейшей задачей любого государства является обеспечение национальной безопасности. При этом энергетическая безопасность - одна из главных составляющих национальной безопасности. Для обеспечения защиты объектов энергетики необходимо выделить среди них наиболее важные объекты, нарушение функционирования которых может оказать существенный негативный эффект на отрасль экономики, ключевой ресурс или всю инфраструктуру. Эти ключевые объекты называются критически важными объектами. В работе [1] было показано, что для выявления критически важных объектов энергетики могут быть применены меры центральности, рассматриваемые в теории сложных сетей. Центральность - характеристика, показывающая «важность» или «влияние» определенного узла внутри графа. Так как понятие «важность» имеет широкий ряд значений, существует множество различных мер центральности [2, 3]. В связи с этим возникает задача выбора из всех мер центральности некоторого подмножества, которое бы наиболее полно отражало различные

аспекты важности узла. Для решения этой задачи было проведено исследование, заключающее в поиске корреляций мер центральности двух сетей энергетики – сети газопровода и сети электроснабжения.

Исследование корреляции мер центральности. К наиболее часто используемым мерам центральности можно отнести следующие: степень вершины, полустепень захода (количество входящих в вершину дуг) и полустепень исхода (количество исходящих из вершины дуг) для ориентированных графов, нагрузка узла (или центральность по посредничеству) (betweenness centrality), центральность по Кацу (Katz centrality), центральность по близости (closeness centrality), гармоническая центральность (harmonic centrality), центральность собственного вектора, PageRank, HITS и другие [2, 3]. На практике часто значения различных мер центральности коррелируют между собой. Если меры имеют высокую степень корреляции, то можно предположить, что они связаны между собой некоторой зависимостью. Таким образом, число рассматриваемых мер центральности можно сократить, исключив некоторые связанные меры. Однако природа данной зависимости остается неясной. Будет ли корреляция проявляться для любых сетей? Зависит ли она от вида и характеристик сети? Для выяснения этой проблемы был проведен анализ корреляций мер центральности двух сетей энергетики – сети газопровода России и сети электроэнергетики Восточной Сибири. Для каждой из этих сетей были рассчитаны следующие меры: степень вершины, эксцентриситет, нагрузка узла (центральность по посредничеству), центральность по близости, гармоническая центральность, центральность собственного вектора, PageRank и HITS.

Далее для всех мер был рассчитан коэффициент ранговой корреляции τ Кендалла. Коэффициент ранговой корреляции Кендалла применяется для выявления взаимосвязи между показателями, если их можно ранжировать и рассчитывается по формуле:

$$\tau = \frac{n_{corc} - n_{discor}}{0,5n(n - 1)}$$

где n_{corc} – число конкордантных пар, n_{discor} – число дисконкордантных пар, n – общее число пар. Две пары наблюдений (x_i, y_i) и (x_j, y_j) являются конкордантными, если имеется согласие между рангами соответствующих элементов этих пар, т.е. $x_i > x_j$ и $y_i > y_j$, или $x_i < x_j$ и $y_i < y_j$.

Вычисление мер центральности производилось с помощью программного средства Gephi. Для вычисления коэффициента ранговой корреляции Кендалла использовался пакет STATISTICA. В таблицах 1 и 2 показаны результаты расчетов для сети электроснабжения и газопровода соответственно. В таблицах приняты следующие обозначения: d – степень вершины, e – эксцентриситет, C_{clos} – центральность по близости, C_{harm} – гармоническая центральность, C_{betw} – нагрузка узла, C_{HITS} – HITS, C_{PR} – PageRank, C_{ev} – центральность собственного вектора. Жирным шрифтом в таблице выделены коэффициенты, большие 0,5. Курсивом выделены коэффициенты, большие 0,7. Для показателей, значение коэффициента корреляции которых превышает 0,7, можно предположить наличие функциональной зависимости.

Таблица 1

Матрица корреляций Кендалла мер центральности для сети электроснабжения

	d	e	C_{clos}	C_{harm}	C_{betw}	C_{HITS}	C_{PR}	C_{ev}
d	1.000	-0.244	0.294	0.457	0.594	0.267	0.845	0.581
e	-0.244	1.000	-0.638	-0.575	-0.053	-0.384	-0.029	-0.563
C_{clos}	0.294	-0.638	1.000	0.813	0.140	0.703	0.107	0.621

C_{harm}	0.457	-0.575	0.813	1.000	0.270	0.657	0.234	0.756
C_{betw}	0.594	-0.053	0.140	0.270	1.000	0.115	0.598	0.259
C_{HITS}	0.267	-0.384	0.703	0.657	0.115	1.000	0.101	0.538
C_{PR}	0.845	-0.029	0.107	0.234	0.598	0.101	1.000	0.301
C_{ev}	0.581	-0.563	0.621	0.756	0.259	0.538	0.301	1.000

Таблица 2

Матрица корреляций Кендалла мер центральности для газопровода

	d	e	C_{clos}	C_{harm}	C_{betw}	C_{HITS}	C_{PR}	C_{ev}
d	1.000	-0.142	0.240	0.387	0.728	0.206	0.751	0.729
e	-0.142	1.000	-0.585	-0.446	-0.200	-0.405	-0.040	-0.194
C_{clos}	0.240	-0.585	1.000	0.788	0.280	0.670	0.052	0.333
C_{harm}	0.387	-0.446	0.788	1.000	0.408	0.616	0.130	0.493
C_{betw}	0.728	-0.200	0.280	0.408	1.000	0.213	0.544	0.607
C_{HITS}	0.206	-0.405	0.670	0.616	0.213	1.000	0.028	0.297
C_{PR}	0.751	-0.040	0.052	0.130	0.544	0.028	1.000	0.302
C_{ev}	0.729	-0.194	0.333	0.493	0.607	0.297	0.302	1.000

Обсуждение результатов. Как видно из таблиц, для обоих графов хорошо коррелируют между собой следующие меры: степень и нагрузка узла, степень и PageRank, степень и центральность собственного вектора, эксцентриситет и центральность по близости, эксцентриситет и гармоническая центральность, центральность по близости и гармоническая центральность, центральность по близости и HITS, гармоническая центральность и центральность собственного вектора. Для сети электроснабжения также высокий коэффициент корреляции имеют степень и центральность собственного вектора, центральность по близости и центральность собственного вектора, гармоническая центральность и центральность собственного вектора. Для сети газопровода – нагрузка и центральность собственного вектора.

В целом можно отметить, что характер корреляции мер центральностей схож для обоих графов, что позволяет выдвинуть гипотезу о наличии функциональной связи между некоторыми мерами центральности. Однако это предположение требует дальнейшего, более тщательного исследования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Носырева Е.В. Применение теории комплексных сетей для выявления критически важных объектов энергетики // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2017. Т. 21. № 7.
2. Щербакова Н.Г. Меры центральности в сетях // Проблемы информатики. 2015. № 2. С. 18-30.
3. Paolo Boldi, Sebastiano Vigna. Axioms for Centrality. // Internet Mathematics 10 (3-4), 222-262. arXiv:1308.2140v2 [cs.SI].